

同期検波を用いた増巾系に関する研究

著者	工藤 道夫
号	61
発行年	1968
URL	http://hdl.handle.net/10097/11010

氏 名 (本 籍)	工 藤 道 夫 (長 野 県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 6 1 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 3 年 1 1 月 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 2 1 年 9 月 東北帝国大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	同 期 検 波 を 用 い た 増 幅 系 に 関 す る 研 究

(主 査)

論 文 審 査 委 員	教 授 松 尾 正 之 教 授 和 田 正 信
	教 授 佐 藤 利 三 郎 教 授 大 泉 充 郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

従来直流を含んだ入力信号を増幅するには直接結合方式と交流変換方式が用いられる。後者は入力信号を一度変調し、つぎに交流増幅した後、変調と同期して検波する方式である。

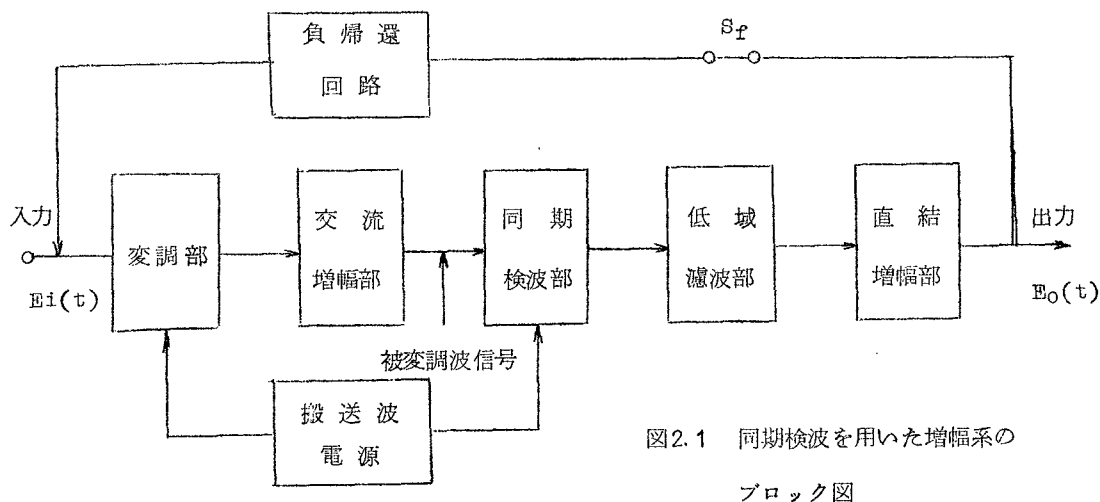
これはドリフトの点などで優れた特長があるため近年工業分野で極めて多く用いられているが、その設計に際しては、各要素および増幅系全体についての問題点を明らかにしておかねばならない。特に同期検波部は、この種の増幅系の検波部として不可欠であり、変調器の形式に拘わらず常に可変抵抗形のもので用いられ、かつ増幅系の出力の周波数特性と密接に関連する。そこで本論文では、まず同期検波部を重点的にとり上げ、つぎに、負帰還を加えた増幅系全体を研究の対象とした。したがって本論文では、この増幅系を同期検波を用いた増幅系と呼び、従来明確にさ

れていなかった問題点を解明し、その最適な設計法を明らかにすることを目的とした。

第2章 同期検波を用いた増幅系の一般的な考察

2.1 同期検波を用いた増幅系の原理

図2.1は同期検波を用いた増幅系のブロック図を示す。本節では増幅系を原理的に説明すると共に、その問題点について論じた。すなわち、まず同期検波回路では、各種の回路に最適な同期検波動作を行なわせるに必要な回路定数の選び方および素子の励振条件など。つぎに交流増幅部



の周波数特性のとり方。交流増幅部と同期検波回路との最適な結合法。さらに増幅系に負帰還を加えた場合信号周波数の広帯域化がどのように可能であるかなどの問題点を明らかにしておかねばならない。

一般に、この種の増幅系は通常の線形定数回路と異なって、変調および検波部で周波数変換が行なわれる。そのため多くの周波数成分の相関性を考慮して解析しなければならない。

2.2 同期検波の分類とその構成

ここでは、特に重点的にとり上げた同期検波回路の概要を把握するため、回路を分類し、その特長と回路構成を論じた。すなわち検波形式より半波形と全波形、回路形式より直列形、並列形および複合形、また検波素子の励振形式より二極スイッチ形と三極スイッチ形、さらに素子の動作特性より受動形と能動形にそれぞれ分類した。なお、素子としては高性能の半導体素子を主に対象とした。

(1)(2)(6)(7)

第3章 同期検波回路の解析

3.1 同期検波回路の解析

まず同期検波回路の基本となる半波形の並列形および直列形回路を主として解析し、最大の検波効率、許容出力リプル、および出力の応答時定数についての基本的な設計条件を導いた。

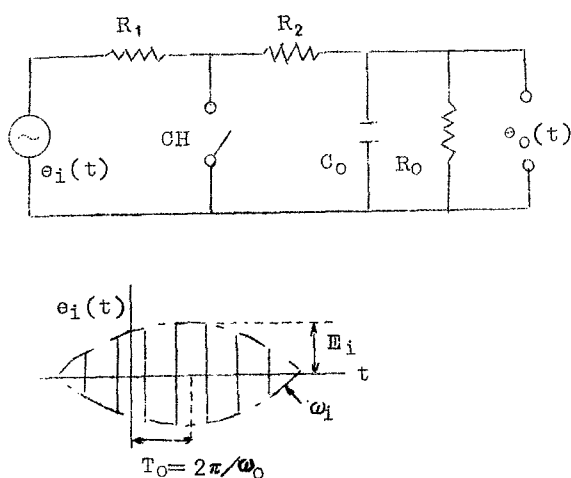


図3.1 半波並列形回路，および被変調波信号 $e_i(t)$

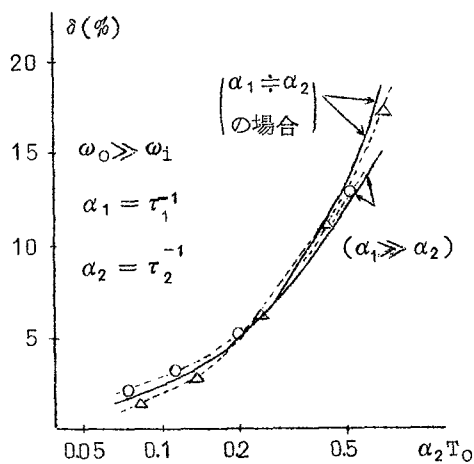


図3.2 回路定数と出力リプルの関係(点線は実測値)

たとえば図3.1の半波並列形回路で出力コンデンサ C_0 での充放電時定数を τ_1, τ_2 ，搬送波周期を T_0 とおき，これらと出力リプル δ との関係を求めれば図3.2が得られる。

3.2 半波形ダイオード同期検波回路

検波素子としてダイオードチョップを用い，その励振形式は基本的な平衡形とブリッジ形を扱った。そして検波効率を最大とするための回路定数および素子の励振条件，励振回路の応答の改善，搬送波の高調波入力の影響，素子のオフセット出力の回路的改善について明らかにした。

3.3 半波形トランジスタ同期検波回路

トランジスタは特に受動形チョップとして用い，回路形式は基本的な直列形と並列形をとり上げた。これ等の回路に最適な同期検波動作を行なわせるためには3.1節の設計条件以外に，前節と同じく素子の励振条件などを明らかにしておかねばならない。

たとえば，図3.3の並列形回路で信号 E_i ，搬送波 E_r ，および出力 E_o が同図の極性とすれば，励振条件は次式であたえられる。

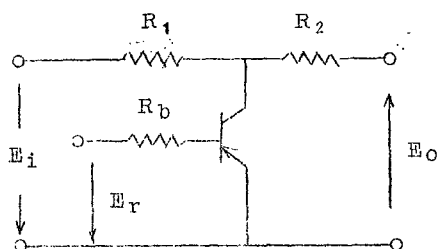


図3.3 トランジスタスイッチの結線図

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_b}{R_1 // R_2} &\leq n_r \beta_n \frac{1}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (1 + \eta)} \\ n_r &\geq 1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} (1 + \eta) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

ただし、 $n_r = E_r / E_i$ 、 η ：出力の検波効率
 β_n ：順方向エミッタ接地電流増幅率

これ等の条件は設計例について確めることができた。

第4章 同期検波を用いた増幅系の各部の周波数特性

4.1 CR結合同期検波回路

交流増幅部と同期検波回路との結合部として従来より多く実用されるCR結合法をとり上げた。この結合まで含めた同期検波部の回路条件は増幅系の出力の周波数特性に大きく影響することを解析し、その合理的な結合法を明らかにした。すなわち本節で扱った図4.1の基本的な半波並列形回路において、結合コンデンサのために出力に対する倍電圧効果が現われること。結合時定数をあまり小さく選べば出力の検波効率が低下し、一方あまり大きくとれば出力の応答時定数が増大する。結合部において出力の位相遅れが生ずる。さらに前段の交流増幅部の出力抵抗に応じて、出力電圧および電力を最大とするための回路条件が異なることをそれぞれ明らかにした。

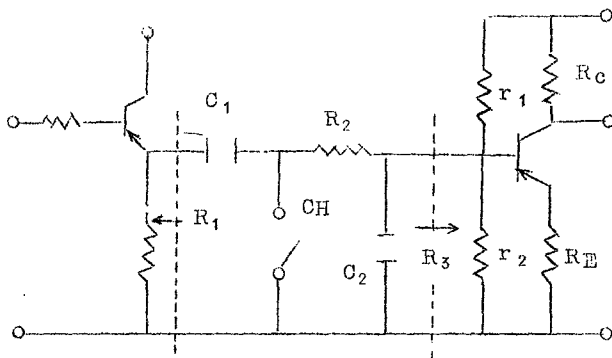


図4.1 CR結合同期検波回路

たとえば図 4.2 は結合時定数と検波効率の関係を示したものであるが、搬送波角周波数 ω_0 に対して結合時定数の実用範囲は $\omega_0 C_1 R_1 \geq (2 \sim 4.0)$ であたえられる。また図 4.3 は結合時定数と出力の応答時定数の関係を示したものである。

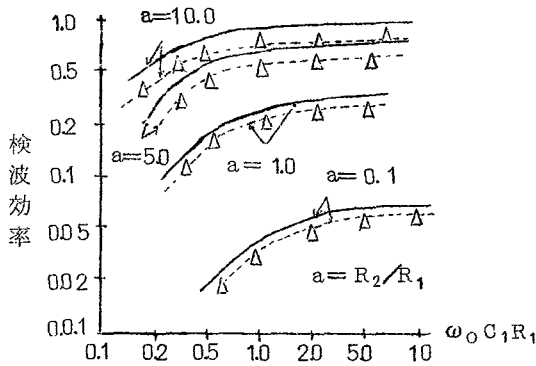


図 4.2 結合時定数と検波効率の関係
(点線は実測値)

ここで得られた設計条件は、それぞれ実測によっても確かめられた。

4.2 交流増幅部の周波数特性の影響

本節では、被変調波スペクトルを有効に伝送する目的で、広帯域特性の交流増幅部を対象とした。そして増幅系の入力信号および搬送波の周波数に対して、交流増幅部の周波数特性をどのように選ぶべきかを論じた。

(4)(8)

第5章 同期検波を用いた広帯域増幅系

5.1 半波形同期検波を用いた増幅系の検討

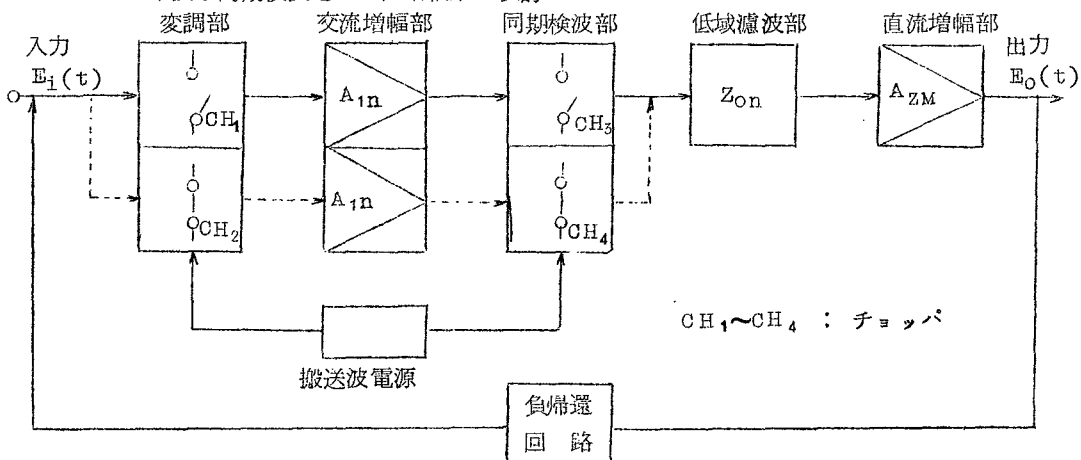


図 5.1 負帰還を加えた場合の増幅系

図5.1は負帰還系のブロック図で、実線は半波形同期検波の場合である。この時は無帰還時と同じく、矢張り出力リプルのために搬送波周波数の $\frac{1}{2}$ を超えた信号周波数は扱えない。しかし負帰還量に応じて出力の実効的な応答時定数は改善されるので、これ等の関係を設計の立場より検討した。その結果、信号周波数帯域および許容出力リプルがあたえられた場合、それに必要な搬送波周波数、低域濾波器まで含めた同期検波部の回路定数、さらに増幅系に加えるべき負帰還量が設計できる。

5.2 全波形同期検波を用いた増幅系の広帯域化

図5.1で点線部分も含ませて全波形とすれば、半波形の場合の出力リプルが打消せる。しかし、信号周波数 f_i が搬送波周波数 f_o の整数倍に接近すれば、交流増幅部の特性に基づいて別の出力歪みが現われる。しかし、負帰還によってこれは十分に改善されるので、全波形の場合は $f_i > f_o$ に及び充分な信号周波数の広帯域化ができる。また交流増幅部を互いに独立な和動形と、差動効果を持った差動形に構成した場合では、出力リプルの改善度と出力の安定条件が異なる。

本論文では、 Pf_o ($P=1, 3, \dots$) を含んだ広帯域の信号周波数に対し、増幅系中の多くの周波数成分の相関性を考慮しながら、一般的な出力の解析と、出力の安定性の吟味を行なった。たとえば和動形の場合、信号角周波数 $\omega_i = P\omega_o - \Delta\omega$ における出力の一般式は次式で表わされる。

$$G_1 G_3 R_2 Z_{on} (A_1 E_{in} - \frac{1}{2} \bar{a} K_p K(n+p) E_{io}) = E_{on} \left\{ \frac{1}{A_{2n}} (1 + G_3 Z_{on} - A_1 R_2 G_2 G_3 Z_{on}) \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \bar{a} K(n+p) G_2 G_3 R_2 Z_{on} \sum_m K_m [E_o(m+p) + E_c \{ -(m+p) \}] \right\}$$

ただし、 $E_{in}, E_{on}: E_i(t), E_o(t)$ の $(\omega_i + n\omega_o)$ 成分

R_m, G_m : 増幅系中の抵抗およびコンダクタンス

K_m : チョッパの特性関数の係数

A_{1n}, A_{2n}, Z_{on} : $(\omega_i + n\omega_o)$ 成分に対する図5.1の利得およびインピーダンス

$A_1 = A_{1n} (n \neq -p)$

\bar{a} : 交流増幅部の周波数特性に関するベクトル

$p=1, 3, \dots, n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$

.....(5.1)

なお具体例を設計し、実測によっても信号周波数の広帯域化について確めることができた。

第 6 章 結 言

本章では，全体の成果と結論を要約して述べた。すなわち同期検波を用いた増幅系を研究の対象とし，特に同期検波回路を重点的にとり上げ，ついで負帰還を加えた増幅系を扱った。その結果従来明確でなかった問題点を解明すると共に，最適な設計法を明らかにすることができた。

参 考 文 献

- (1) 和田，工藤： 電気四学会九州支部大会 1035（昭33）
- (2) 工藤： 電気学会誌 83 893（昭38）
- (3) 工藤： 電気学会誌 84 907（昭39）
- (4) 工藤： 回路網理論研究会資料 77-1（昭39）
- (5) 工藤： 電気四学会東海支部大会 6-4-12（昭39）
- (6) 工藤： 自動制御 3 7（昭39）
- (7) 工藤： 信州大学教育学部紀要 15（昭40）
- (8) 工藤： 計測と制御 6 6（昭42）

審 査 結 果 の 要 旨

工業計測や制御用電子機器において微弱な直流信号を安定に増幅する必要性が極めて多い。このために直流信号を一たん変調器によって交流信号に変換し、交流増幅した後変調と同期して検波し、出力直流信号を得る方式が用いられる。これを同期検波方式という。この増幅方式は信号電源の性質に応じて変調器として可変抵抗や可変リアクタンスのものなど各種のものが用いられるが、同期検波部は変換効率の高い可変抵抗のもののみが主として用いられている。この同期検波部はこの種の増幅系にとり必要不可欠のものであり、その特性は増幅系全体の性能に大きな影響をもつにもかかわらず、十分な研究がなされていない。

本論文はこの点に注目し、同期検波部を重点的にとり上げ、その最適設計法を明確にするとともに、変調検波を含むこの種非線形増幅器の広帯域化の可能性について研究したもので、全文6章よりなる。

第1章は緒論であり、第2章では同期検波を用いた増幅系の原理と同期検波回路の概要をのべ、本論文の研究目的を明らかにしている。

第3章では、まず最も基本的な半波形同期検波回路を対象とし、具体的に回路を構成する場合の各種の設計条件を解析的に明らかにした。ついで半導体ダイオードならびにトランジスタを用いた実用的な同期検波回路の動作を最適にするための条件を定量的に明らかにしている。

第4章では、同期検波を用いた増幅系の全体の周波数特性に大きく影響するものとして、交流増幅器と同期検波部とをCR結合することによって生ずる特異な特性、および交流増幅部の低域しゃ断特性をとり上げ、解析ならびに実験によってその合理的な設計条件を明らかにした。これは著者により初めて行なわれたものであり、その結論はこの種の増幅系の設計資料として重要である。

第5章では、同期検波を用いた増幅系に負帰還を加え、どのように広帯域増幅が可能であるかを明らかにしている。すなわち半波形同期検波を用いた増幅系は理論上検波器の搬送波周波数の $1/2$ 以上の信号周波数の増幅はできないが、全波形同期検波を用いると十分な負帰還を加えることにより、搬送波周波数の整数倍を含んだ広帯域の増幅が可能である。このことを解析ならびに実験によって確かめているが、これはこの種の増幅系に対する従来の概念を改めるものであり、本研究の大きな成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、従来不明確であった同期検波を用いた増幅系の最適設計法を確立し、さらに従来考えられなかったこの種増幅系の広帯域化を実現したものであり、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。